

*A mon ami M. E. de Foug.
un des auteurs*

LE CHEMIN DE FER ALPIN

PAR

LE SIMPLON

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE PARIS

PAR

M. William HUBER

ET

M. Thomas-Georges LOMMEL

INGÉNIEURS

EXTRAIT des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils.



PARIS

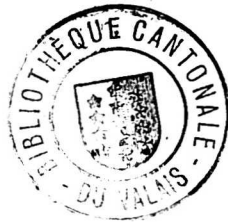
IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT

6, RUE DES POITEVINS, 6



LE CHEMIN DE FER ALPIN
PAR LE SIMPLON





2894

Bibl. cant. VS Kantonsbibl.



1010028788

PA 1454

LE CHEMIN DE FER ALPIN

PAR

LE SIMPLON

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE PARIS

PAR

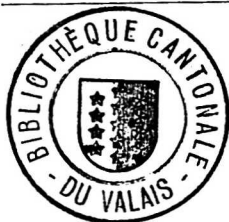
M. William HUBER

ET

M. Thomas-Georges LOMMEL

INGÉNIEURS

EXTRAIT des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils.



PARIS

IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT

6, RUE DES POITEVINS, 6

1878

PA 1454

LE CHEMIN DE FER DU SIMPLON

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE PARIS

dans les Séances des 26 Avril et 3 Mai 1878

PAR MM. **WILLIAM HUBER** ET **LOMMEL**.

Conférence de M. William Huber.

La chaîne des grandes Alpes n'est encore franchie par chemin de fer qu'en deux points :

A l'est par la ligne du Brenner, qui met en communication l'Autriche et l'Adriatique ; à l'ouest par le mont Cenis, seul passage ouvert par voie rapide, le littoral excepté, au commerce de la France avec l'Italie.

Depuis longtemps, l'attention de l'Allemagne, de la France, de la Suisse, de l'Italie et de l'Angleterre était dirigée vers l'exécution d'un passage plus direct, pouvant satisfaire pratiquement les besoins toujours croissants de communications internationales.

On étudia simultanément les passages du Lukmanier, dans le canton des Grisons ; du Saint-Gothard, dans celui d'Uri ; du Simplon, dans le canton du Valais, et d'autres encore.

Dès 1857, les cantons suisses, directement intéressés au Saint-Go-

thard, se réunirent pour faire éclore le projet; ils attirèrent la bienveillance des autorités fédérales, l'attention de l'Allemagne et de l'Italie, et firent rejeter à l'arrière-plan l'idée du percement du Lukmanier et du Simplon comme situés dans des positions trop excentrées. L'Allemagne se laissa facilement convaincre; ses relations politiques avec l'Italie, ses aspirations vers la Méditerranée et l'Orient dictèrent, sans effort, ses préférences. De plus, la pratique des grands travaux de percement était encore dans l'enfance; on était en droit d'espérer que, jamais d'autre porte ne pouvant s'ouvrir au travers des Alpes, le Saint-Gothard resterait sans rivaux. Dans l'esprit de ses partisans, ce passage, bien que placé dans des conditions techniques plus difficiles et plus onéreuses, devait donner une satisfaction suffisante aux intérêts lésés, en même temps qu'une large part à ceux de la Suisse et du futur empire. La concession fut accordée en 1869 et la convention internationale ratifiée la même année.

On connaît les difficultés et les mécomptes par lesquels passe, depuis plus de deux ans, cette grande entreprise : les devis, calculés à près de 200 millions sur des cartes à petite échelle, ont été, par une étude plus détaillée, trouvés trop courts de 102 autres millions. Les thalwegs d'accès ont été reconnus avoir une déclivité trop grande pour y pouvoir installer une ligne sans développements suffisants dans les vallons latéraux rares et rapides. Repoussant l'application d'un système spécial aux lignes de montagne (crémaillère ou rail central), pour une grande artère internationale, les ingénieurs ont récemment conclu à l'adoption d'un palliatif qui permet au tracé de maintenir des rampes de 25 pour mille. Aujourd'hui la Compagnie est en désaccord avec son entrepreneur; les actionnaires sont à bout de confiance et d'argent, les États intéressés se refusent à verser la totalité du subside supplémentaire : ils ne se sont engagés, avec bien des restrictions, que pour 28 millions sur les 102. Plus tard on verra ce que coûte l'exploitation d'une ligne conçue dans de semblables conditions et quels tarifs additionnels viendront grever les transports. Quoi qu'il en soit, le tunnel est déjà percé sur les deux tiers de ses 15 kilomètres; les abords n'en seront pas commencés de longtemps, mais le Saint-Gothard se fera un jour ou l'autre. Il reste pour l'instant une menace et deviendra le puissant ennemi des intérêts français, si on ne lui oppose en temps utile un rival dans de meilleures conditions de pratique et d'économie.

Sans même jeter les yeux sur une carte d'Europe on comprend qu'une percée faite dans le rempart des Alpes en prolongement de la direction générale du Rhin, de Bâle en Hollande, servira d'embouchure et de débouché à tout le commerce de l'Allemagne, à une grande partie de celui de la France et à tout le transit belge et anglais pour les Indes et l'Orient. La France, pour chercher ce passage, devra emprunter le territoire alsacien ou l'embranchement de montagne par Porrentruy, récemment inauguré par la Compagnie de l'Est, et traverser la Suisse dans sa plus grande largeur.

Les pays du soleil sont les objectifs de tous les peuples du Nord. Les issues dans les Alpes doivent devenir les embouchures dans la terre promise des grands fleuves commerciaux de l'Europe septentrionale et industrielle. Ces fleuves ont, comme les autres, leurs bassins dont les lignes de partage peuvent être aisément calculées par les principes de l'équidistance et par l'application des tarifs. Or, d'après les calculs de M. Vauthier, ancien ingénieur de la ligne d'Italie, auquel on doit un avant-projet du Simplon avec tunnel de base, le bassin français du Saint-Gothard s'étend de la frontière de l'Alsace à une ligne qui partirait de Besançon pour se diriger sur le Havre en passant à l'est de Paris. De Paris, situé près de la ligne de partage, à Milan, centre de la haute Italie, on mesure 898 kilomètres. Toutes les relations commerciales de la région nord-est resteront tributaires d'un passage subventionné par l'Allemagne, dont elle garde les clefs à Saint-Louis, près de Bâle.

L'autre partie de la France, située au sud-ouest de cette ligne fictive de Besançon au Havre, constitue les bassins du mont Cenis et du littoral. De Paris à Milan par le mont Cenis, la distance est de 954 kilomètres. Si le Simplon était percé, son bassin serait figuré par l'espace compris dans l'immense angle droit qui aurait le Rhin pour un de ses côtés et le parallèle passant par Lyon pour l'autre. La distance de Paris à Milan par le Simplon serait de 832 kilomètres.

Ces distances sont prises sur les indicateurs ou sur les cartes. Mais pour expliquer comment le bassin du Simplon empiète jusqu'au Rhin sur un territoire qui semble appartenir de droit au Saint-Gothard, il faut tenir compte de la moindre vitesse et des frais de traction plus

considérables, impliquant des tarifs plus élevés sur les chemins de fer à forte rampe que sur ceux en plaine. A longueur égale, une ligne de plaine est parcourue plus rapidement qu'une ligne de montagne; d'où il suit que, pour apprécier le moindre temps de parcours, il ne suffit pas de savoir quelle est la plus courte de deux lignes sur une carte, mais il faut compter avec les rampes et ne mettre en rapport les longueurs qu'après leur avoir appliqué un coefficient que l'expérience a calculé.

En appliquant ces coefficients aux longueurs réelles, on trouve que les distances virtuelles entre Paris et Milan sont :

Par le mont Cenis.	1,095 kilom.
Par Saint-Gothard.	1,070
Par le Simplon.	942 ¹

accentuant les avantages trouvés par la mesure des distances réelles et donnant 128 kilomètres de raccourci sur le Saint-Gothard et 153 sur le mont Cenis.

Ces différences sont telles que l'on peut espérer voir la presque totalité du commerce des régions nord et centrale françaises choisir cette voie de préférence à celles du Gothard et du mont Cenis; que tout le transit anglais et belge traverserait la France au lieu d'emprunter les lignes allemandes; les charbons français remplaceraient bientôt les houilles anglaises dans la haute Italie, et les relations de toutes sortes entre les deux pays de race latine augmenteraient dans une notable proportion.

On a pu craindre que le passage du Simplon porterait préjudice au port de Marseille. Cette objection serait sérieuse si l'existence du Saint-Gothard n'était pas assurée; mais, quoi que l'on fasse ou qu'on ne fasse pas, Brindisi, situé à l'extrémité de la Péninsule italienne, est destiné à devenir le port de l'Orient. Voyageurs et marchandises à grande vitesse préféreront toujours les voies rapides par terre. Chaque année le commerce de Brindisi augmente: le passage en œuvre aujourd'hui déve-

1. *Le percement du Simplon*, par L. Vauthier, Paris, Germer-Baillière, 1875.

loppera plus encore l'importance de ce port, car le canal de Suez lui fait un avenir qu'on ne peut qu'accepter. Le Simplon ne saurait être rendu responsable de ce développement, car les transports sur Brindisi passeront par le Saint-Gothard, s'ils ne peuvent passer ailleurs. Marseille restera toujours le port français par excellence, le point d'embarquement des marchandises qui peuvent supporter la voie maritime, toujours plus économique, et Brindisi deviendra, par la force des choses et du Gothard, le port international dicté par l'avenir.

On a dit aussi qu'au point de vue militaire, la bouche nord d'un tunnel de jonction avec l'Italie devait s'ouvrir sur territoire français, et que toute autre solution constituerait un danger et une hérésie stratégique. L'Allemagne ne l'a pas jugé de la sorte pour ce qui la concerne; elle n'a pas craint de confier la porte du Saint-Gothard à la garde de la neutralité suisse. Toutefois, quelques esprits se sont emparés de cette objection pour préconiser l'exécution d'un tunnel sous le Mont-Blanc. Le projet est séduisant; l'idée de percer les Alpes sous leur plus haute cime flatte l'imagination; mais, sans sortir du point de vue militaire, on paraît oublier la situation politique dans laquelle les conventions internationales placent le Chablais, le Faucigny et tout le territoire jusqu'au Rhône, en passant par Ugine et le lac du Bourget: ces provinces forment une zone neutre qui ne peut être occupée militairement par aucun belligérant et dont la garde, en cas de guerre, a été confiée à la Suisse.

En 1859 ce pays n'a pas oublié les obligations auxquelles il était astreint; au moment où allait éclater la guerre d'Italie, le Conseil fédéral fit parvenir à toutes les puissances (14 mars) une note par laquelle il se déclarait prêt à remplir le devoir qu'il avait accepté. Toutes, la France et l'Italie les plus intéressées comprises, répondirent en donnant leur pleine approbation à cette attitude. L'annexion de la Savoie, par suite de la paix de Villafranca, n'a pas modifié cet état de choses: la France a accepté toutes les charges et servitudes de cette neutralité. Nous savons bien qu'elle ne violera pas la foi des traités.

Au point de vue militaire donc, la situation du Mont-Blanc et du Simplon est la même en cas d'une agression de la France contre l'Italie; dans l'hypothèse inverse, elle est en faveur du Simplon car il est plus

facile à la Suisse neutre de défendre le débouché d'un tunnel sur son propre territoire que de disperser ses forces dans le Faucigny. Enfin, si la Suisse était vaincue dans cette lutte pour le respect de sa neutralité, la France défendrait plus aisément le chemin de fer du Simplon, qui débouche au centre même des places fortes du Jura, Besançon, Jougne, les Rousses, que la ligne du Mont-Blanc, qui donne accès à toutes les routes de la Savoie et à la grande vallée du Rhône avec Lyon, la seconde capitale de la France, pour objectif.

Le projet par le Mont-Blanc présente d'autres inconvénients encore : il ne constitue qu'une doublure du mont Cenis, débouchant comme lui sur Turin au lieu de sortir sur Milan et la Lombardie, de ce chef il ne ferait jamais concurrence au Gothard ; ses lignes d'accès ne sont pas encore concédées ; elles seraient coûteuses et difficilement exploitables en hiver dans des vallées dont le climat rigoureux se ressent du voisinage du géant des neiges. L'altitude à laquelle le massif devrait être attaqué est bien plus considérable que celle à laquelle on aborde le Simplon. En appliquant les coefficients de déclivité, le tracé par le Mont-Blanc serait de Genève à Milan, selon le projet que l'on adopterait, de 32 ou 71 kilomètres plus long que ce même parcours par la voie du Simplon.

Si le Premier Consul avait connu les chemins de fer, ce ne serait pas une route que l'ingénieur Céard aurait construite par ce col, le plus déprimé de la chaîne. La France a de tout temps considéré ce passage comme le plus direct et le plus aisé ; deux larges et chaudes vallées servent de facile accès au mur que quelques heures suffisent à franchir. Les gouvernements changent, les frontières politiques se modifient mais les faits topographiques restent immuables comme les formes de la terre. Ce qui était vrai jadis, restera toujours vrai.

L'utilité du Simplon est peut-être plus frappante aujourd'hui pour des intérêts français qu'elle ne l'était au commencement du siècle : La route à voitures, n'avait pour but que de rendre les relations de la France et de l'Italie plus intimes ; l'Angleterre, dans ces temps de trouble, ne mettait le pied sur le continent que pour combattre ; maintenant elle emprunte les lignes de fer de l'Europe entière pour

son commerce et pour son transit avec sa jeune et puissante colonie des Indes ; elle prend même des mesures pour rattacher son réseau, de pied sec, à celui de la France. Le projet d'un souterrain au Simplon est lié, plus qu'on ne peut le croire à première vue, avec l'entreprise du tunnel sous la Manche. Ces grands travaux terminés permettraient au même wagon d'aller en ligne droite et sans transbordement, de la gare de Charing-Cross au quai de Brindisi. Dès que les Compagnies françaises auront acquis la certitude que cette voie sera percée, nul doute qu'elles ne créent sur leur réseau un service rapide et direct destiné à faire, par le Simplon, une active et féconde concurrence à celui qui prend chaque jour plus d'importance par Ostende, le Luxembourg, l'Alsace, Bâle, et bientôt le Saint-Gothard. Pour atteindre ce but, il faut déboucher en pleine Lombardie sur Milan.

Le canal de Suez est dû au génie de la France ; ses ingénieurs ont les premiers rêvé le tunnel sous-marin et lancé cette colossale entreprise ; la France a construit la route du Simplon, elle ne permettra pas que son nom reste en dehors de la grande œuvre dont nous nous occupons, qui n'est que le trait d'union naturel de ses deux conceptions précédentes, et de deux peuples faits pour se donner la main.

Partie technique.

Les travaux d'accès du tunnel du Simplon sont autrement plus avancés que ceux du Saint-Gothard, où rien encore n'est entrepris entre Lucerne et Lugano. Du côté nord, les locomotives arrivent jusqu'à Brigue, tête même du souterrain projeté. Du côté sud, le réseau italien atteint : d'une part Gozzano, sur le lac d'Orta ; d'autre part, Arona, sur le lac Majeur. Environ 14 kilomètres de terrassements appartenant à l'État, sont terminés entre Gozzano et Domo ; enfin l'Italie s'est engagée à compléter à ses frais la lacune existant entre les têtes de lignes actuelles et Iselle, débouché du tunnel. Sur le versant Suisse les travaux sont presque nuls ; une petite variante de 3 kilomètres transporterait la gare provisoire de Brigue et ses voies à l'entrée du souterrain. Sur le versant italien, les travaux sont plus importants, difficiles même, sur environ 12 kilomètres, mais sans présenter d'obs-

tacles autres que ceux que l'on sait vaincre. Il serait percé douze petits tunnels dont la somme des longueurs n'est que de 1,278 mètres, tandis que les souterrains d'accès au Saint-Gothard mesurent une longueur additionnée de près de 30 kilomètres, avec des courbes intérieures de 300 mètres et une rampe constante de 25 et, dit-on, de 26,5 pour mille.

Le trait caractéristique du tunnel du Simplon est qu'il ouvre ses têtes dans le thalweg même du Rhône d'un côté, et au fond de la vallée de la Diveria de l'autre. Son altitude à l'entrée nord est de 711 mètres, la côte du Rhône étant 676; soit 35 mètres seulement au-dessus du fleuve; son point culminant, situé près de son milieu, est à 729 mètres et sa sortie à Iselle à 687 mètres au-dessus de la mer.

On voit, sans qu'il soit besoin d'insister, les avantages d'un semblable tracé, comme exploitation en toute saison, sur le Saint-Gothard, dont le percement se fait à une altitude de 1,152 mètres; sur le mont Cenis à 1,338 mètres; sur le Brenner à 1,366 mètres; sur le projet du Mont-Blanc enfin, qui serait attaqué, selon le tracé bas ou le tracé haut, à 1,050 et 1,300 mètres. La cote la plus élevée du tunnel du Simplon resterait de 50 mètres au-dessous du point culminant du chemin de fer bien connu de Lausanne à Berne. L'ensemble de la ligne internationale présenterait la singularité que son point haut serait, si l'on passe par Jougne, dans le Jura, dont le climat est autrement plus clément que celui des grandes Alpes; on resterait constamment en plaine si l'on prend la voie du Fort-de-l'Écluse et du Chablais.

Lés rampes d'accès du côté du Rhône ont un maximum de 11 p. mille sur 3 kilomètres seulement; celles de la descente italienne 23,7 p. mille sur une longueur de 17,300 mètres. Le Saint-Gothard, que nous mettons toujours en parallèle, a des rampes de 17,25 et 26,7 p. mille sur près de 90 kilomètres.

Le tunnel lui-même est un alignement droit de 18,507 mètres de longueur, avec des déclivités intérieures de 2 à 4,5 pour mille. Le Saint-Gothard aura 14,920 mètres, le mont Cenis en a 12,233. Ce supplément de longueur est racheté au Simplon par les avantages de l'altitude et la suppression des aléas toujours inhérents à la construction des abords, tandis que la perforation à forfait n'offre plus aujourd'hui de surprises.

Les travaux préliminaires de triangulation furent entrepris par M. Lommel, aux frais de la petite Compagnie actuelle du Simplon, dans le printemps de 1876. M. Lommel est parti d'une base de 3,224^m,68, choisie dans la vallée du Rhône, entre Brigue et Gamsen. La mesure de cette base a été faite six fois à la latte et au ruban d'acier, sans toutefois prendre de précautions spéciales contre les variations de température. L'écart moyen, par les deux procédés, n'a été que de 9 centimètres. Une chaîne de 23 triangles à recouvrements très heureux, l'a conduit en Italie sur une autre base mesurée entre Domo et Crévola, de 3,172^m,76, laquelle, mesurée comme la première, par quatre opérations, a donné, entre la latte et le ruban, une différence moyenne de 31 centimètres. Cette même base de Domo, calculée par les triangles, a été trouvée de 3,173^m,45, donnant sur les chaînages une différence de 0^m,69, et sur la longueur du tunnel une erreur possible de 0^m,30 seulement. Bien que cette précision soit presque suffisante, toujours conviendra-t-il de faire une vérification au moment de l'exécution. Elle sera d'autant plus facile, que les signaux ont été construits d'une façon définitive et sur un nouveau type assurant la parfaite stabilité de l'instrument au centre de la station, quels que soient les tourmentes qui puissent assaillir les opérateurs.

Le piquetage du projet a été fait suivant une ligne de pente, repéré sur un polygone pris sur la route même du Simplon et déterminé par le choix d'un certain nombre de bouleroues; puis les plans de situation et parcellaires ont été levés à la planchette à l'échelle de 1/1000, avec courbes équidistantes de 2 mètres. Ces courbes ont été obtenues graphiquement par l'application sur le plan des profils en travers en nombre considérable.

Le nivellement en long n'a pas été fait par-dessus la montagne; pour les trois kilomètres d'accès du côté nord, il est parti de la côte fédérale de Brigue, laquelle est amenée du repère de Genève, rattaché lui-même au nivellement général de la France, dont le plan de comparaison est à 0^m,400 au-dessus du zéro de l'échelle du port de Marseille. Pour les accès du côté sud, l'opération a été rattachée aux nivellements de précision de la Suisse, exécutés de 1870-1873 par la commission géodésique fédérale, sous la direction des astronomes MM. A. Hirsch et E. Plantamour. Ces nivellements traversent les massifs du Simplon et

du Gothard ; ils ont été exécutés avec une rare précision, en vue de la mesure d'un arc du méridien de l'Europe centrale. Les repères étant nombreux sur la route du Simplon entre Iselle et Domo d'Ossola, on a pu s'y rattacher pour ainsi dire pas à pas. Les différences entre les deux nivellements ont été d'ailleurs partout insignifiantes.

La nature géologique du massif du Simplon est connue depuis longtemps. Néanmoins la Compagnie a cru devoir en faire l'objet d'une étude spéciale au point de vue du projet. Elle a confié ce travail à trois professeurs compétents : MM. Lory, de Grenoble, Renevier, de Lausanne, et Heim, de Zurich. Cet examen minutieux a confirmé ce que l'on prévoyait : le tunnel s'attaquera du côté nord, à des schistes lustrés et calcaires, sur une longueur d'environ 3 kilomètres ; il pénétrera ensuite, pendant la plus grande partie du parcours souterrain, dans les micaschistes, les schistes amphiboliques et les gneiss schisteux, interrompus par de faibles filons calcaires. Du côté de l'Italie, on rencontrera des gneiss granitiques très durs mais offrant une stratification accentuée de nature à faciliter considérablement leur exploitation et leur emploi dans la construction. On ne se sert pas d'autres roches dans le pays pour les travaux d'art, les bouleroues, les clôtures de propriété, et même, débitées en aiguilles, pour poteaux télégraphiques.

La nature de ces roches n'a rien qui puisse surprendre les prévisions de percement par les moyens connus ; les infiltrations ne sont pas probables ; l'expérience acquise ailleurs donne la presque certitude d'un avancement quotidien de 6 à 7 mètres au moins, portant à environ huit ans la durée des travaux. Il est à prévoir que, malgré leur dureté à l'attaque, la propriété des micaschistes de s'effeuiller au contact de l'air, imposera la nécessité d'un revêtement continu : il est compté dans le devis estimatif. Sur le parcours d'Iselle à Domo, la formation de gneiss stratifiés persiste ; cette roche sera d'autant plus économique dans les constructions, que les Piémontais excellent dans le métier de carriers et de tailleurs de pierres métamorphiques. Au surplus, cette section doit, nous l'avons dit, être construite par le gouvernement italien. La Compagnie du Simplon a cru, néanmoins, devoir en faire l'étude, afin d'être en mesure de présenter un projet complet, supprimant les incertitudes et les surprises toujours fatales.

Plus importante encore était l'étude des forces motrices naturelles nécessaires à la compression de l'air des perforatrices et à la ventilation du tunnel. Les nouveaux procédés mis en œuvre depuis quelques années, font du régime des cours d'eau à proximité des grands travaux en galerie une condition *sine qua non* de possibilité économique. En pays de montagne l'eau n'est pas rare, mais le danger est d'en manquer pendant l'hiver, alors que toutes les pluies se cristallisent et que tous les ruisseaux deviennent immobiles. Le Simplon n'a rien à craindre à cet égard. En barrant le Rhône de part en part, à deux kilomètres en amont de Brigue, au-dessus du confluent de la Massa, on a trouvé, pendant les froids rigoureux de janvier 1878, 10,400 litres par seconde. Si l'on ne compte que sur la moitié de cette quantité, pour faire la part belle et tenir compte des déperditions du bief d'arrivée qui doit chercher l'eau à près de cinq kilomètres en amont, on obtiendra avec 50 mètres de chute assurée, 250,000 kilogrammètres par seconde, soit 3,333 chevaux théoriques et 2,000 chevaux utiles. Sur l'autre versant, les jaugeages de la Diveria ont donné, dans les mêmes conditions d'expérience et de calcul, un minimum de 1,356 litres par seconde, lesquels, avec une chute de 180 mètres, donneront 3,254 chevaux théoriques et, comme du côté nord, environ 2,000 chevaux utiles. Les forces motrices sont donc amplement assurées.

Devis.

Nous n'aborderons pas ici la question financière. Nous nous bornerons à dire que le projet de M. Lommel se base sur toutes les expériences acquises à coups de millions sur d'autres points et fait, contrairement aux errements du Saint-Gothard, une large part aux imprévus.

Les trois kilomètres de raccordement du côté nord ont été estimés à 225,000 francs par kilomètre sans les rails ni le matériel roulant, qui seront à déplacer de l'ancienne ligne sur la nouvelle. Le mètre courant de tunnel coûte au Gothard 2,800 francs comme percement (prix de l'entreprise) et environ 1,000 francs pour le revêtement. Bien que dans des conditions autrement plus avantageuses au Simplon, M. Lommel a compté son mètre courant à 4,000 francs. Sur les dix-neuf kilomètres à construire du côté sud par l'Italie, dont douze seulement sont estimés

comme difficiles, le devis se monte à 765,000 francs environ par kilomètre, chiffre qui suffit, après examen des plans, calcul des cubes et matériaux à pied d'œuvre, à prouver la prudence de l'auteur du projet.

Le tunnel coûterait donc à lui seul.	74,000,000 fr.
Sa voie de fer, rails, ballast traverses, etc. . .	1,300,000
Les travaux d'accès du côté nord.	675,000
Les travaux d'accès du côté sud, d'Iselle à Domo, à faire par l'Italie.	15,325,000
L'achèvement du tronçon de Gozzano à Domo, à faire par l'Italie.	<u>12,000,000</u>
Ensemble.	103,300,000

A ajouter pour les installations, voies et bâtiments à la gare internationale à Brigue environ 4,500,000 francs.

En résumé, en comptant largement, mais sans tenir compte du service des intérêts, impossible à chiffrer maintenant, la somme à engager, qu'elle sorte des caisses publiques ou privées, s'élèverait, pour opérer la jonction des têtes de lignes existantes, à environ 108 millions, c'est-à-dire à la somme environ à laquelle se montent les mécomptes seuls du devis du Saint-Gothard.

Sur ces 108 millions, 27-28 millions seront dépensés par l'Italie pour les sections Iselle à Domo et Domo à Gozzano ou Arona. Il restera 80 millions environ à trouver pour le tunnel et la gare de Brigue par les États, les cantons, les communes situées au nord de la chaîne des Alpes et par les capitaux privés. Étant données les promesses de coopération italienne, et sans préjuger la façon dont cette coopération sera rendue effective, pour 80 millions, la Suisse romande et la France peuvent voir se resserrer leurs liens avec l'Italie et s'ouvrir de nouveaux horizons en Orient. Ces pays, dont les races et l'histoire sont les mêmes, ne ramèneront sur leur territoire et dans leurs cités un transit et un mouvement commercial sur le point de leur échapper, que par la création d'une forte et féconde concurrence au Saint-Gothard, dont la menace vise au plus haut de leurs intérêts et de leur avenir.

LE CHEMIN DE FER DU SIMPLON

Conférence de M. Lommel

Directeur de la Compagnie

(3 mai 1878)

Dans une précédente réunion de la Société des Ingénieurs civils de France, notre collègue, M. William Huber, vous a entretenus d'une façon plutôt générale des conditions d'établissement et d'exploitation de la ligne alpestre projetée à travers le *Simplon*, de ses avantages marquants sur tous les autres passages des Alpes, et de l'intérêt majeur que sa réalisation présenterait pour la France. Dans la même séance du 26 avril je devais avoir l'honneur de compléter les indications de mon ami et collègue, en fournissant quelques données plus détaillées sur les études qui ont été opérées sous ma direction et sur les plans qui sont exposés. Mais une circonstance imprévue m'a obligé de repartir pour la Suisse et de renvoyer ma communication à une prochaine séance.

Je me propose donc aujourd'hui de vous entretenir plus en détail de la question des études de la ligne du Simplon. Mais avant d'entrer dans le sujet technique, il m'incombe de remplir un agréable devoir : celui de remercier votre Société, et particulièrement son Bureau, du bienveillant accueil que vous avez réservé à nos démarches. Sans doute cette bienveillance doit être attribuée, tout en première ligne, à l'attention naturelle que soulève dans ce milieu tout problème technique d'une nature grandiose et intéressante, et plus particulièrement encore tout projet qui intéresse la France.

Je viens donc, monsieur le Président et Messieurs, vous offrir la très vive et très sincère expression de ma gratitude.

Ce devoir étant rempli, j'aborde le sujet même de ma communication.

La question du Simplon, qui nous occupe, n'est pas née d'aujourd'hui, et les projets exposés dans cette salle ne sont pas les premiers qui aient été élaborés pour ce passage des Alpes. Depuis près de vingt ans, celui-ci fait l'objet des préoccupations et des travaux d'ingénieurs distingués, dont plusieurs sont membres de cette Société. Parmi ces derniers il convient de citer tout d'abord M. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées et autrefois ingénieur en chef de la ligne d'Italie, qui avait proposé en 1860 déjà un tracé de tunnel traversant la montagne près de sa base; MM. Eugène Flachet et Thouvenot, qui proposèrent des tracés plus ou moins définitifs, devant franchir le col à ciel ouvert ou peu en dessous de son point culminant; enfin M. Tony Fontenay, qui étudia l'application au Simplon de son ingénieux procédé d'attaquer les souterrains au moyen de galeries inclinées. Deux ingénieurs de mérite, MM. de Mondésir et Lehaitre, avaient proposé en 1863, si je ne me trompe, un tracé franchissant la montagne au moyen d'une déclivité de 40 pour mille, obtenue par une série de lacets à rebroussement. A ces noms se rattachent ceux de plusieurs ingénieurs suisses, MM. Jacquemin, Venetz, Clo, Stokalper, Pellis et Meyer. J'ai eu moi-même l'honneur de prendre part à la discussion dans les années 1863-1865, en publiant tout d'abord une étude critique des divers systèmes de traction proposés pour franchir ce col, puis, à la demande du gouvernement vaudois, un ouvrage plus complet, qui préconisait au Simplon un tracé avec tunnel de base, et le mettait en parallèle sous le point de vue technique, commercial et militaire, avec les tracés similaires du Saint-Gothard et du Lukmanier.

En 1875 et 1876 enfin, l'étude du Simplon donna lieu à un nouveau projet de tunnel proposé par M. Favre, entrepreneur du Gothard.

Ces divers travaux ont, en réalité, répandu beaucoup de lumière sur la question du Simplon.

Cependant, ils étaient confinés sur un terrain plutôt générique, et ils ne purent s'appuyer sur la base irrécusable d'opérations suffisamment détaillées faites sur le terrain. En vérité la situation, longtemps incertaine, ne semblait pas être de nature à exiger ces études détaillées. Pendant plusieurs années les esprits furent hésitants, et flottèrent entre divers systèmes de traction, se traduisant par tracés hauts, tracés intermédiaires et tunnels de base. Ce n'est qu'en 1872, à la suite du succès final du

tunnel du mont Cenis et des progrès très réels qu'avait atteints, durant la dernière période de sa construction, la perforation mécanique de ce souterrain, que la grande majorité des ingénieurs et du public finit par se rallier à l'idée d'un *tunnel de base au Simplon*.

C'est sous l'empire de cette phase nouvelle dans les esprits et à la suite de la déchéance de l'ancienne Compagnie de la ligne d'Italie, que s'était formée, dans le canton de Vaud, la Compagnie du chemin de fer du Simplon, dont le programme était de mener à prompt solution le percement du tunnel alpin, et l'établissement de ses lignes d'accès suisses et italiennes. En prenant possession du réseau valaisan, alors exploité sur 80 kilomètres environ entre Bouveret et Sierre, la Société a dû se préoccuper tout d'abord de la formation de son administration. Cette dernière fut constituée à la fin de l'année 1875. Appelé à cette époque au sein du conseil d'administration et de la direction, je reçus la mission spéciale de gérer le département technique, comprenant le parachèvement de la ligne exploitée entre Bouveret et Sierre, la direction des travaux neufs entre Sierre et Viège, le contrôle de l'exploitation et les *études du passage du Simplon*, entre Viège et Domo d'Ossola.

Si cette dernière partie de la tâche du département technique ressortait déjà du *but fondamental* en vue duquel la nouvelle société avait été constituée, sa prompte exécution s'imposait encore par des considérations toutes *spéciales*, se liant à la propagande destinée à obtenir les subventions pour le percement du grand tunnel. Dans l'état d'incertitude et de scepticisme qu'avaient provoqué les récents mécomptes de la Compagnie du Saint-Gothard, il devenait à peu près impossible de se présenter devant les États intéressés sans être armé de projets sérieux et complets. Vous savez, Messieurs, qu'en dépit des devis basés sur un avant-projet à l'échelle de 1/10,000 par deux ingénieurs réputés, MM. Beckh et Gerwig, le Gothard se trouva un jour, après avoir fait exécuter des levés plus détaillés et plus complets, devant le gouffre béant d'un déficit d'abord estimé à 102 millions de francs, soit de 100 pour 100 des chiffres prévus pour les lignes d'accès, et de 40 pour 100 du coût total de l'entreprise *dont le tunnel alpin s'exécutait cependant dans les limites du devis*. Bien que cette erreur désastreuse, ne fût pas due exclusivement à l'insuffisance des documents concernant la plastique du sol, elle y tenait cependant en très grande partie. Le rapport de M. le directeur Hellwag ne laisse à cet égard aucun doute, et il établit d'une façon éloquente et palpable, l'inconvénient

et l'insuffisance des tracés dans les terrains hautement difficiles faits sur des levées à petite échelle.

En reconnaissant la nécessité générale d'études, le conseil d'administration de la Compagnie du Simplon, d'accord avec les deux ingénieurs résidant dans son sein, M. Colladon et moi, comprit la nécessité de faire établir ces études sur une base irrécusable, permettant de se livrer à une appréciation complète et exacte des masses et du coût d'établissement. C'est dans cet ordre d'idées qu'il ouvrit un premier crédit de 92,000 francs, soit environ 2,000 francs par kilomètre, laissant d'ailleurs au chef de son département technique, toute liberté par rapport au cadre des opérations, au choix du personnel et aux autres moyens d'action.

Le personnel des études fut constitué au commencement de l'année 1876 ; au mois d'avril de cette même année commencèrent les opérations sur le terrain, du côté nord des Alpes, entre Viège et Brigue. Dans le courant du mois de mai ces opérations furent étendues à la ligne d'accès méridionale, entre Iselle-Gondo et Domo d'Ossola.

Ces études devaient comprendre les opérations principales suivantes :

A. Une grande *triangulation de précision*, rattachant le réseau trigonométrique suisse au réseau italien, soit à l'ancienne triangulation sarde, et destinée surtout à fixer d'une façon exacte, l'épaisseur du massif à traverser par le grand tunnel alpin et la direction de ce dernier.

B. Le *piquetage d'une ligne d'opération* polygonale, se rapprochant aussi près que possible du tracé définitif de la ligne, et à fixer à cet effet par une ligne de pente, d'abord recherchée sur le terrain. Ce polygone était à rattacher à la grande triangulation et à un second polygone qui devait suivre la grande route du Simplon et servir de vérification à la ligne d'opérations principale.

C. Le *nivellement* très exact des deux lignes polygonales. Ce nivellement était à rattacher aux repères du nivellement de précision entrepris en 1874-1875 par la commission géodésique pour la mesure du degré de l'Europe centrale.

D. Des *profils en travers* à lever sur la ligne d'opération. Ces profils étaient à compléter par une série de profils spéciaux suivant les

cours d'eau transversaux au tracé, et sur ces profils spéciaux devaient être établis de nouveaux profils en travers.

E. Des levers à la planchette des *plans parcellaires* au 1/1 000 du tracé et de ses abords, avec indication de l'état des lieux, de la ligne d'opération, et des principales dépressions du sol, soit lisières des terrasses rocheuses, bords des torrents et limites des cônes d'éboulement. Ces levers devaient être étendus autant que possible jusqu'à la grande route du Simplon et jusqu'à la *Diveria*. Ils devaient être complétés, à plus grande distance de la ligne d'opération polygonale et du futur tracé, par des levers à la *stadia* donnant la configuration générale du sol.

F. Des levers spéciaux relatifs aux *installations pour la perforation mécanique*, et le jaugeage des cours d'eau devant fournir la *force motrice*.

G. L'étude *géologique* du tunnel et de ses abords.

Tel était le cadre général prescrit pour les opérations. J'examinerai plus loin encore les opérations principales.

L'exécution de ce programme exigeait tout d'abord des *directions générales*, quant aux conditions du ou des tracés à étudier. Ces directions devaient s'appuyer à leur tour sur les travaux antérieurs et sur la connaissance très générale du sol.

Le programme d'un *tunnel de base* n'était plus à discuter, et sa justification, sous le point de vue technique et économique, sortirait du cadre du présent exposé. Il me suffira de mentionner une fois de plus une assertion dont l'exactitude a déjà été prouvée à maintes reprises par des chiffres généraux irrécusables : c'est qu'en raison de la configuration particulière du massif du Simplon le coût d'un tunnel de 18 à 19 kilomètres percé à l'altitude de 680 à 770 mètres, ne dépasse guère celui d'un tracé définitif à ciel ouvert, ou celui d'un tracé avec tunnel de 12 à 13 kilomètres devant gravir par un développement artificiel, parfois très coûteux et peu aisé, un supplément d'élévation de 400 à 500 mètres. Or, à *égalité du coût de construction*, les immenses *avantages d'exploitation* du tunnel de base portent dans la balance un poids décisif en faveur de cette dernière solution.

Mais ce *tunnel de base*, même confiné entre les altitudes de 680 à 770

mètres, permet encore un certain nombre de variantes, en modifiant les débouchés et les lignes d'accès au nord et au sud des Alpes.

Trois solutions principales sont en présence :

Au point de vue des accès nord :

a) Rester dans la partie basse de la plaine du Rhône et dans le voisinage immédiat du fleuve. La tête septentrionale du grand tunnel doit, dans ce cas, être disposée sur la rive gauche du fleuve, au nord-est de la ville de Brigue, dans ce plateau quelque peu marécageux et peu cultivé, qui s'étend sur la rive gauche du Rhône, entre les confluent de la Saltine et de la Massa. (Weisfeld.)

b) Gravier les coteaux du versant méridional de la vallée du Rhône, en s'élevant depuis Viège déjà, avec des pentes normales et modérées, cela d'une façon suffisante pour pouvoir entrer à une certaine profondeur dans la gorge de la Saltine et profiter ainsi du raccourcissement que cette échancrure naturelle permet d'obtenir pour le grand souterrain.

c) Prendre une solution intermédiaire, en restant sur 3 à 4 kilomètres depuis Viège, c'est-à-dire jusqu'au cône de déjection de la Gamsa, dans la plaine du Rhône et sur la digue du fleuve, et en gravissant depuis là, avec une rampe normale et modérée, les versants très peu inclinés et relativement faciles qui s'étendent au midi de Gliss et de Brigue, dans la proximité immédiate de ces localités.

La solution relatée sous a) répond au projet de tunnel étudié en 1873 par MM. Favre et Clo, et discuté depuis lors par M. l'ingénieur Meyer. Ce projet a sa tête septentrionale au nord-est de Brigue, près de la maison du tir, et son débouché sud à 600 mètres environ en aval d'Iselle; ce dernier débouché est presque identique avec celui du projet Vauthier. La solution relatée sous b) est celle que comportent les projets déjà anciens de MM. Vauthier et Stockalper. Ces deux projets obligent de graver en côtoyant le versant sud de la vallée du Rhône depuis Viège. Ils diffèrent entre eux d'abord au point de vue de l'altitude de la tête nord, 743-771, qui est de 28 mètres plus forte dans le projet Stockalper; puis surtout au point de vue du débouché sur le versant sud des Alpes dans la vallée de la Diveria. En effet, le tunnel Vauthier, long de 18,220 mètres, aurait sa tête septentrionale à 600^m environ en aval d'Iselle, à la cote 625^m,

tandis que le tunnel Stockalper, long de 46,450 mètres seulement, comporte son débouché méridional à 3 kilomètres en amont d'Iselle et à la cote 790^m. Il est à remarquer qu'à teneur des résultats obtenus par la triangulation exacte, toutes ces longueurs qui correspondent aux indications des auteurs seront à augmenter de 200 mètres environ; la longueur exacte du tunnel Vauthier est en effet de 48,442^m.

La troisième solution, celle d'un tunnel de base *intermédiaire* entre les deux projets qui viennent d'être cités, n'avait pas fait l'objet d'une étude même préliminaire. Elle se trouve cependant effleurée dans l'ouvrage que j'ai publié en 1864. Le débouché nord du tunnel serait sur la rive droite de la Saltine, à environ 300 mètres en aval du pont Napoléon. Son débouché méridional doit être situé à 4,100 mètres environ en amont d'Iselle.

L'examen *préliminaire* de la situation m'a conduit à abandonner les tracés Vauthier et Stockalper. Les motifs saillants dans ce sens sont les suivants :

1° Ces deux projets obligent de recourir entre Viège et Brigue à un *tracé difficile et coûteux*, empruntant des coteaux en général abruptes et peu stables traversés par de nombreuses irrigations. Ce tracé comporterait 3 à 4 tunnels dont le plus long n'aurait pas moins de 700 mètres. Son coût kilométrique pour double voie ne saurait être évalué en dessous de 400,000 à 450,000 francs.

2° A moins d'une dépense tout à fait hors ligne, il ne serait pas possible de disposer sur ces versants difficiles, sinueux et en général fortement inclinés, une *gare internationale* comportant une très grande longueur et un formidable développement de voies, ainsi que des installations et bâtiments nombreux. La gare internationale devrait dès lors être translatée dans la plaine de Viège à 10 kilomètres environ du débouché du tunnel, ce qui constituerait un sérieux inconvénient.

3° L'*altitude* de 743 à 771 mètres de la tête *septentrionale* du tunnel est de 32 à 91 mètres plus forte que celle que permet d'adopter le tracé inférieur ou le tracé intermédiaire.

4° Les *installations pour la perforation mécanique* deviendront bien plus difficiles et seront très exposées dans la gorge étroite et sinueuse de la Saltine.

5° Ayant sa tête nord (743^m) relativement élevée et sa tête sud

(625^m) relativement basse, le tunnel Vauthier exige sur la partie méridionale de son parcours la *déclivité déjà assez forte* de 14 pour mille. Cette déclivité ne constituerait pas un obstacle très majeur ; mais elle sera néanmoins rationnellement évitée, étant admis en effet que la facile exploitation du grand souterrain dépend dans une forte mesure de la possibilité de le franchir avec une grande vitesse et avec une combustion relativement modérée. Le tunnel Stockalper ne présente pas cet inconvénient, son débouché sud étant à la cote de 790^m, soit de 65 mètres plus élevé que le débouché Vauthier. Mais comme cette tête se trouve très en amont d'Iselle, le tracé aurait à franchir sur les 3 kilomètres entre Gondo et Iselle un terrain très difficile et donnant lieu à une dépense presque égale à celle qu'on gagnerait sur le raccourcissement du tunnel.

Les divers inconvénients que je viens de passer en revue ne se retrouvent pas sur le tracé dit intermédiaire. En entrant en tunnel au midi de Brigue à 300 mètres en aval du pont Napoléon, et en sortant à 1,100 mètres en amont d'Iselle, on obtient une longueur de 18,507 mètres, longueur très peu différente de celle du tunnel Vauthier, corrigée selon les résultats de la triangulation. (18,442^m). Les altitudes des deux têtes sont de 711 et 687 mètres. Le point culminant est de 30 mètres en *dessous* de celui du tunnel Vauthier et de 60 mètres en dessous de celui du tunnel Stockalper. Les accès de ce tracé intermédiaire sont formés, sur 3 à 4 kilomètres depuis Viège, par les digues *déjà existantes* du Rhône, sur 4 à 5 autres kilomètres par une ligne facile ne pouvant coûter au delà de 200,000 à 225,000 fr. par kilomètre. La gare internationale de Brigue sera assise sur un coteau ayant seulement 10 à 12 pour cent de pente transversale ; elle comporte un très fort remblai qui servira utilement à loger les matériaux du tunnel. La position de cette gare sera d'un accès commode pour Brigue et la vallée de Conches. Les installations pour la perforation disposeront d'un emplacement vaste, elles seront d'un accès facile et ne présenteront aucune difficulté.

Tel est à grands traits le résultat de la comparaison préliminaire entre les tunnels Vauthier et Stockalper d'une part et le tunnel intermédiaire d'autre part. On voit qu'aux points de vue de l'exécution des *travaux* et de l'*exploitation*, tout est en faveur de ce dernier projet. En abordant les chiffres du coût d'établissement on

trouve, d'une part, sur le versant nord 10 kilomètres à 450,000 fr., soit une dépense totale modérément estimée à 4 millions $1/2$; d'autre part, 4 kilomètres de digues du Rhône à 100,000 fr. et 5 kilomètres à 225,000 fr., en tout une dépense de 1 million $1/2$; la différence de coût entre les lignes d'accès nord devient dès lors de près de 3 millions. Cette situation est partiellement compensée par le faible allongement du souterrain intermédiaire, puis, sur le versant sud, par le fait que ce dernier tunnel oblige à un surplus de parcours de 1,700 mètres environ, qui doit s'effectuer d'ailleurs sur une partie relativement facile de la vallée, en majeure partie avec des remblais provenant des déblais du tunnel. En portant pour ces 1,700 mètres le chiffre plutôt exagéré de 600,000 fr. par kilomètre, on obtient un surplus de coût d'un million et la différence du coût entre les deux tracés se réduirait ainsi de 3 millions à 2 millions; elle dépasserait encore le chiffre de 1 million $1/2$ en mettant en balance un allongement de 62 mètres sur la longueur du souterrain.

Après avoir établi la supériorité incontestable du tunnel de base intermédiaire sur les tunnels de base Vauthier et Stokalper il m'incombait de comparer d'une façon préliminaire ce premier souterrain avec celui étudié par M. Favre.

Comme je l'ai déjà dit, le tunnel Favre doit avoir son entrée nord près de la maison de tir, à Brigue, et sa sortie méridionale à 600 mètres environ en aval d'Iselle, à peu de distance de la tête sud du tunnel Vauthier. La tête nord est supposée à l'altitude de 678, la tête sud à celle de 645 mètres; la longueur totale du souterrain serait devenue, selon l'auteur de la proposition, de 19,850 mètres. Ces divers chiffres doivent subir quelques rectifications, par suite des résultats bien plus précis aujourd'hui obtenus par la triangulation et par le lever du terrain. C'est ainsi que la longueur du tunnel Favre deviendra de 20,050 mètres, et que le palier au nord du tunnel devra être porté à l'altitude de 680 mètres, pour permettre le plus facile dépôt des déblais du tunnel. Je ne fais qu'effleurer ces rectifications, qui n'ont pu guider d'ailleurs mon raisonnement quant aux bases préliminaires du projet. En effet, elles n'étaient pas encore connues au moment où il m'incombait de donner des directions dans ce sens.

Des données moins complètes connues au commencement de l'année 1876, il découlait cependant avec certitude que le tunnel Favre serait

de 1600 mètres *environ* plus long que le tunnel intermédiaire, et que son établissement exigerait un notable excédant de coût et une période de construction plus longue. Selon les données fournies par le mont Cenis et par le Gothard, il était permis d'évaluer à une année environ la durée plus longue de la construction et à 4000 fr. $\times 1600^m = 6,400,000$ francs la différence du coût d'établissement. Ajoutant à ce chiffre celui de la perte d'intérêt à subir pendant une année sur le coût de 18 1/2 kilomètres, soit sur environ 74 millions de capital, perte pouvant être évaluée entre 3 1/2 et 4 millions, on arrive à une charge supplémentaire de 10 millions que représenterait le tunnel Favre vis-à-vis du tunnel intermédiaire.

Cette charge supplémentaire se réduit cependant à 8 millions environ si l'on défalque d'une part $5 \times 125,000$ fr. pour les 5 kilomètres plus faciles sur le parcours entre la Gamsa et la gare de Brigue, parcours sur lequel le tunnel Favre permet d'utiliser comme corps de voies les digues du Rhône, et d'autre part 1 million environ pour la réduction de parcours de 1700 mètres sur le versant sud.

En face de l'augmentation de charge de 8 millions, aggravée encore d'un attermoisement de l'ouverture du tunnel, nous devons compter à l'actif du tunnel Favre son altitude inférieure de 30 mètres environ que celle du tunnel intermédiaire.

Cet avantage est-il suffisant pour motiver un surplus de dépense de près de 8 millions ? Je ne l'ai pas pensé et ne le pense pas davantage aujourd'hui. En supposant par le Simplon un trafic de transit annuel de 500,000 à 600,000 tonnes ; en supposant le surplus d'élévation de 30 mètres comme équivalant à six kilomètres de traction horizontale à raison de 1 centime par tonne et par kilomètre, on arrive à une dépense supplémentaire de 6 centimes par tonne et à une dépense supplémentaire annuelle de 600,000 tonnes $\times 6$ centimes = 36,000 fr. Cette annuité ne saurait se mettre en balance avec celle que représente un excédent de 8 millions dans la dépense première.

A ce point de vue je dus arriver au rejet du tunnel Favre vis-à-vis du tunnel intermédiaire. Je ne pouvais méconnaître cependant que, *tout en gardant sur le versant nord l'accès extrêmement facile donné par les digues du Rhône, il devenait possible d'obtenir un tunnel notablement plus court en faisant pivoter la direction du souterrain Favre autour d'un point situé à 6 kilomètres de la tête nord et en remontant la tête sud dans la vallée de la Diveria, de façon à la rendre*

identique avec la tête sud que j'avais choisie pour le tunnel intermédiaire. C'est là en résumé que nous trouvons le nœud de la situation. La tête sud des tunnels Vauthier et Favre est choisie près d'un angle de la vallée de la Diveria, dans une position qui paraît *au premier abord* très séduisante sur le terrain. Mais ce choix oblige de traverser le massif dans une direction plus biaise et donne lieu à un notable allongement du souterrain, qui ne saurait se mettre en parallèle avec un modique et naturel allongement de la ligne dans la vallée de la Diveria. En reportant la tête sud comme je viens de le dire, on peut réduire la longueur du tunnel ainsi modifié, de 20 à 19 kilomètres, tout en gardant les deux têtes à une altitude presque identique.

Cette modification se commande encore pour le tunnel Favre, par la nécessité d'obtenir environ 1 kilomètre de longueur pour la gare internationale de Brigue. Cette condition indispensable est réalisée par le fait que le tunnel, pivotant autour du point sus indiqué, aura sa tête nord reportée vers le nord-est de Brigue, *elle ne pourrait guère être obtenue par le tracé de l'auteur même du projet.*

Les considérations qui précèdent sont de nature à élucider déjà suffisamment la question du choix du tracé du tunnel et le programme que j'ai donné comme point de départ des opérations sur le terrain des études. Ce programme se résumait à prescrire l'étude de deux directions principales, toutes deux débouchant à 1100 mètres environ au-dessus d'Iselle, mais ayant l'une son point de départ nord à 1 kilomètre au nord-est de Brigue, l'autre sur la grande route du Simplon à la sortie de Brigue, à 300 mètres environ en aval du premier lacet, près du pont Napoléon.

Cependant, pour mieux élucider la question et pour attribuer au projet Vauthier, pour lequel j'ai penché un moment, toute l'attention que comporte le caractère éminent de son auteur, j'ai encore fait exécuter un lever complet soit des gorges de la Saltine, soit du versant sur lequel devrait être assise la ligne d'accès de ce projet entre Brigue et Viège.

La question était ainsi fixée en ce qui concerne le souterrain même. Mais il restait à résoudre un autre point très important, celui de la rampe à adopter pour l'accès méridional. On sait en effet que, sur le versant nord, les conditions de déclivité peuvent être assimilées à celles des plus faciles lignes de plaines et sont entièrement hors de discussion.

Entre le point de sortie méridional du souterrain (687 mètres d'altitude) et la plaine de la vallée du Toce en face du Domo et peu en aval du confluent de la Diveria (272 mètres d'altitude), on rencontre une différence de niveau de près de 415 mètres. Le développement naturel des vallées de la Diveria, qui s'étend jusqu'au défilé de Crevola, et des vallées du Toce et de la Bogna, donne entre les mêmes points un parcours d'environ 19 kilomètres. Divisant la différence d'altitude par le parcours on trouve une déclivité moyenne de $\frac{415^m}{19,000^m} = 0,0219$, soit sensiblement 22 pour mille. En déduisant du parcours de 19 kilomètres les paliers ou pentes réduites des stations d'Iselle, de Varzo et de Crevola, environ 1200 à 1500 mètres, la déclivité moyenne augmente et devient de près de 24 pour 1000.

Les projets Vauthier et Stockalper ont été confinés dans ce programme d'un développement naturel et leurs auteurs ont adopté à cet effet, pour le tracé entre Gondo-Iselle et Domo d'Ossola, des déclivités variant de 20 à 25 pour mille.

M. Favre a cru devoir abandonner dans son projet cette base si simple. En s'inspirant, croyons-nous, de l'idée de mieux faire ressortir les faciles conditions d'exploitation de la ligne du Simplon, il s'est donné, sur le versant sud, la déclivité limite de 15 pour mille. Le développement naturel des vallées ne se prêtant pas à l'emploi de cette pente réduite, l'habile constructeur du Gothard a cru devoir recourir à un allongement artificiel de près de 11 kilomètres, obtenu depuis le défilé de Crevola par un lacet remontant la vallée principale du Toce. Cet allongement comporte des travaux importants, entre autres un tunnel de 1800-1900 mètres au lacet près de Grodo. Il oblige de reporter plus haut dans le versant, cela jusqu'à concurrence de 100 mètres environ, le tracé entre Iselle et Crevola. La traversée de la large vallée du Toce en face de Domo ne permettant pas, sans remblais exagérés, l'emploi d'une rampe supérieure à 12 pour mille, il s'ensuit qu'une partie notable du parcours est perdue au point de vue de la stricte utilisation de la déclivité maximum et que l'augmentation du parcours est encore moins favorable que ne le comporterait le rapport entre les coefficients de déclivité maximum.

En examinant cette proposition du constructeur du tunnel du Gothard, ma première impression fut qu'un allongement *artificiel* de la ligne d'accès méridionale du Simplon n'avait pas sa raison d'être ; qu'en face

d'avantages très douteux, au point de vue de l'exploitation, il comporterait une aggravation de dépenses très considérable et non justifiée. Cette aggravation semblait être représentée par une dépense d'environ 3 millions $1/2$ pour le tunnel de Grodo et par 4 millions $1/2$ pour le surplus de longueur de 9 kilomètres comptés à raison de 500,000 fr. en moyenne. L'augmentation générale du coût devenait de 7 à 8 millions. L'étude plus complète du versant a prouvé que cette première évaluation n'avait rien d'exagéré et qu'au surplus du coût représenté par le lacet de Grodo il convenait d'ajouter encore une forte majoration kilométrique sur tout le parcours Iselle-Crevola, où le tracé à 15 pour 1000 se trouverait entièrement rejeté dans les parois rocheuses, tandis qu'un tracé avec déclivités de 20 à 25 % peut se tenir généralement au pied de ces dernières. C'était donc à 8 ou à 9 millions d'augmentation de dépense première qu'obligeait l'adoption de la rampe de 15 pour mille.

Sous le rapport de l'*exploitation*, nul doute qu'à *parcours égal* une rampe de 15 pour 1000 vaille mieux qu'une de 20-25 %.

Mais, abstraction faite des travaux et même au simple point de vue du coût d'exploitation, la question change déjà de face lorsqu'il s'agit d'obtenir la réduction de la déclivité par un *allongement* artificiel du parcours. Si l'opportunité d'un tel *allongement* peut se présenter parfois pour éviter des rampes tout à fait anormales et excessives, elle doit paraître fortement contestable dans beaucoup d'autres cas, où il s'agirait de réduire des rampes encore normales et très usuelles. Pour citer un exemple : on ne chercherait pas un développement artificiel pour gravir avec une rampe de 5 pour mille un côteau qui pourrait se franchir en ligne directe avec une déclivité de dix pour mille. Où est donc à cet égard la limite ? On a souvent cherché à généraliser la question en appliquant avec plus ou moins de succès des formules théoriques. Si ses dernières ne sont pas sans valeur, il saute aux yeux cependant que la solution du problème ne saurait s'ériger en axiome ni prendre les allures et la netteté d'une formule algébrique. Ses facteurs varient sur une vaste échelle. Les considérations générales sont dominées ici par des circonstances de l'ordre particulariste et local et par des exigences de la grande pratique de l'exploitation. Essayons cependant de poser quelques jalons pour faciliter l'appréciation de la question qui se pose au Simplon.

Il est à remarquer, tout d'abord, que beaucoup d'éléments du coût

de l'exploitation d'un chemin de fer augmentent en rapport direct avec la longueur du tracé. Il en est ainsi, par exemple, des frais d'entretien des terrassements, des ouvrages d'art et des clôtures, du déblaiement des neiges, du gardiennage de la ligne, du relevage de la voie, du remplacement des traverses et du ballast et, dans une certaine mesure aussi, du personnel des gares et des trains.

En face des éléments prémentionnés pour lesquels tout allongement non indispensable du parcours devient nuisible, et qui militent par conséquent en faveur de la rampe plus forte et plus courte, il en est un autre qui semble devoir faire pencher la balance en faveur de la rampe réduite, cela parfois même au prix d'un allongement de parcours. Il s'agit en effet du chapitre important de la *traction*.

Ici encore, l'inconvénient de la plus forte rampe ne se manifeste pas d'une façon absolue et complète. Si l'on suppose deux tracés gravissant la même élévation, l'un au moyen de 15 kilomètres de parcours incliné à raison de 20 pour mille, et l'autre au moyen de 20 kilomètres de parcours incliné à raison de 15 pour mille de pente, il est évident que le travail de remorqué proprement dit, sera plus fort sur le tracé plus long. En effet, pour un même et constant travail vertical PH , le tracé plus long sera grevé d'un plus fort travail horizontal P/L_1 au lieu de P/L . (Les chiffres L et L_1 représentant les parcours, P le poids et f le coefficient de la résistance due aux frottements.) Mais ce côté plus onéreux d'un allongement, est compensé et au delà, par la circonstance qu'à égalité d'effort, les charges remorquées sur une plus forte rampe sont limitées, et occupent un moindre poids par rapport à la locomotive et qu'il y a par conséquent disproportion entre le travail total et le travail *utile*. Cette difficulté sérieuse qu'ont éliminée avec plus ou moins de succès les divers systèmes de traction spéciaux, tels que ceux de Fell et de Riggenbach, ne saurait être contestée ni être évitée par le système à *adhésion libre*. Avec ce système, la traction devient sans contredit plus onéreuse sur la rampe plus forte et plus courte.

Le temps fort limité laissé à ma communication m'empêche d'entrer à cet égard dans des considérations et des calculs plus détaillés. Je suis forcé de me tenir sur un terrain plutôt général, qui sera d'autant plus admissible d'ailleurs, que les motifs qui parlent contre l'emploi du tracé Favre ont une portée si prépondérante, qu'ils ne sauraient être atténués par quelques erreurs d'appréciation dans les détails. Je me bornerai à citer un exemple qui correspond aux deux tracés du Simplon, c'est-

à-dire à la comparaison entre une rampe de 23,7 pour mille sur 17,5 kilomètres et une rampe à 15 par mille sur 27,5 kilomètres. En supposant l'adhérence $= \frac{1}{8}$, des locomotives de 45 tonnes en service, des tenders de 20 tonnes en service, on trouve que la charge brute qu'il est possible de remorquer, devient de $(196 - 65) = 131$ tonnes dans la première, et de $(281 - 65) = 216$ tonnes dans la seconde hypothèse. Nous pouvons admettre, à une très faible erreur près, que la dépense de la même locomotive travaillant sur des rampes différentes mais au maximum de sa force, restera constante. En estimant la dépense par kilomètre parcouru au chiffre déjà élevé de 2 fr. 50 c. on obtient dans le premier cas, pour gravir la rampe entière, une dépense de $\frac{250 \text{ c.} \times 17,5}{131} = 33,4$

centimes, et sur le second cas une dépense de $\frac{250 \text{ c.} \times 27,5}{216} = 31,8$

centimes par tonne brute. Supposant pour voyageurs et marchandises un tonnage brut général de 1,500,000 tonnes et lui appliquant la différence de 1,6 centimes ci-haut calculée, par tonne brute, on obtient une différence de $1,500,000 \text{ fr.} \times 0 \text{ fr. } 016 = 24,000$ francs dans la dépense annuelle de traction. Cette différence est déjà compensée par le surplus d'annuité de 3,000 francs pour le remplacement des traverses, de 6,500 francs pour le gardiennage de la voie, et plusieurs milliers de francs pour l'entretien du ballast, des talus, etc., etc. On peut dire dès lors, que les dépenses d'exploitation seront, sur la rampe moindre mais proportionnellement plus longue, aussi considérables que sur la rampe plus forte et plus courte. Dans cette situation la raison parle en faveur du tracé qui permettra, à dépenses annuelles presque égales, de réduire considérablement les frais de premier établissement.

L'ensemble des motifs qui précèdent m'avait conduit à rejeter l'idée de M. Favre de disposer la ligne d'accès méridionale avec une déclivité de 15 pour mille, se développant par un lacet de 11 kilomètres dans la vallée supérieure du Toce.

En conséquence, je donnai au personnel des études l'instruction suivante :

« De rechercher pour la ligne d'accès méridionale entre Iselle et Domo, une ligne dont l'inclinaison, selon les exigences du sol, pourrait varier entre 20 et 25 pour mille. »

Ce n'est que plus tard, en effet, que l'avancement de nos opérations,

joint à quelques essais préliminaires, me fit reconnaître d'une part, que nous disposions d'une longueur moins grande que cela ne paraissait ressortir du mesurage sur la carte, d'autre part, qu'il était possible d'adopter, sans aggravation *notable* au point de vue des travaux, une rampe *uniforme* de 23,7 pour mille qui est celle des projets ici exposés.

Telles ont été les bases fondamentales des opérations sur le terrain. Il convient de s'arrêter encore un instant à ces dernières.

Commencées sur le versant sud à la fin du mois de mai 1876, ces opérations n'ont pu être terminées qu'au mois de février 1877. Elles furent d'ailleurs favorisées par un hiver exceptionnellement doux.

Je n'insisterai pas sur l'exactitude du travail exécuté, exactitude garantie non-seulement par le choix du personnel, mais encore par les moyens de contrôle que j'ai déjà énumérés, je dirai quelques mots sur la *triangulation*.

Les *signaux* du réseau trigonométrique ont été établis d'une façon très définitive et durable. Il m'a semblé, en effet, que les difficultés d'installation sur les pointes élevées, justifiaient d'exécuter ces signaux d'emblée d'une façon complète et telle qu'ils pourront servir plus tard pour l'exécution du souterrain.

Chaque signal se compose (voir la planche annexée) d'un tuyau en fer étiré de 10 centimètres de diamètre, scellé de 15 à 20 centimètres dans le sol, généralement rocailleux, et entouré jusqu'à une hauteur de 1^m,15 au-dessus du sol d'un massif en maçonnerie-ciment, massif formant un cône tronqué, dont les diamètres sont de 40 et de 70 centimètres. La base et le dessus de ce cône sont formés de plateaux circulaires en bois, enfilés dans le tuyau et liés entre eux au moyen de tirants en fer. La maçonnerie est recouverte d'une chape en ciment. Le tuyau scellé dans le sol dépasse le plateau supérieur de quelques centimètres. Il peut se raccorder au moyen d'un manchon et de bouts taraudés à un second tuyau, formant signal ou à une pièce supérieure de ce dernier formant couvercle et empêchant l'infiltration de l'eau, dont la congélation produirait l'avarie du tuyau.

Cette même partie saillante, peut aussi recevoir un gabarit en tôle, repérant les vis du théodolite par rapport à l'axe vertical du tuyau, et permettant ainsi de faire correspondre le centre de la rotation horizontale de la lunette, avec le milieu du signal. Le théodolite se fixe sur le plateau supérieur au moyen d'une barre métallique traversant la

douille en dessous de l'instrument, barre dont les extrémités un peu aplaties sont vissées, au moyen de fortes vis à bois ordinaires, sur la cible en bois supérieure. La réaction des vis de réglage de l'instrument assure son immobilité en dehors des mouvements rotatifs de ses organes. Cette dernière précaution de fixation directe sur le massif paraissait indispensable. Il faut considérer en effet, qu'une grande partie des signaux se trouve sur des pointes élevées jusqu'à 3246 mètres (Wasenhorn), sur lesquelles l'opérateur a beaucoup de peine à se tenir debout, et dans le sol rocailleux desquelles les pieds d'un instrument ne pourraient guère se fixer. Les rafales fréquentes risqueraient aussi de renverser à chaque instant et l'instrument et l'opérateur, déjà fort gêné dans ses opérations par la température. Le froid était parfois tel qu'il fallut se servir du plat des deux mains pour actionner des vis que les doigts ne pouvaient plus manœuvrer.

Le travail de l'installation des signaux avait absorbé la majeure partie des mois d'août et de septembre 1876. A l'époque où devaient commencer les opérations, c'est-à-dire dans le milieu de septembre, moment où l'on pensait obtenir les conditions météorologiques les plus favorables, le temps se mit à la pluie. Pendant les intervalles, les sommets étaient couverts de nuages et de brouillards qui empêchèrent toute observation. Ces circonstances et la saison déjà avancée ne me laissèrent pas sans inquiétude sur la possibilité de terminer le travail en 1876. Pour atteindre ce but, je me décidai à organiser deux brigades d'observation, dont la marche était coordonnée de façon à ce que l'opération de l'une ne gênât pas la vision de l'autre. Deux ascensions infructueuses furent tentées au Wasenhorn. Enfin, le 7 octobre, arriva la nouvelle que le dernier signal était fait.

Le mesurage à la latte et au ruban des bases longues, celle Gamsen-Naters de 3224^m.68, et celle de Domo-Crevola de 3172^m.76 en moyenne, a donné des différences moyennes de 0^m.38 pour les six mesurages de la première et de 0^m.28 pour les quatre mesurages de la seconde. Les mesurages à la latte avec niveau présentent un écart de 7 centimètres seulement pour la dernière.

Le mesurage des angles a été fait avec des théodolites de 18 centimètres de diamètre de la graduation horizontale. Le nombre des répétitions sur chaque point était de dix. Toutes les répétitions ont été faites de gauche à droite, mais au bout de cinq premières observations on

faisait décrire à la lunette une révolution horizontale de 200 degrés. Il s'agissait en effet d'instruments à division centésimale.

Ces instruments ne sont pas les plus parfaits qu'on puisse employer pour une telle opération. Cependant, fort bien réglés, ils paraissaient plus que suffisants pour le but principal, qui était de connaître l'épaisseur exacte du massif et la longueur du souterrain à quelques décimètres près, chose d'autant plus nécessaire que le détail de la carte fédérale est dans cette partie notoirement inexact. Le résultat recherché a été atteint. Le calcul des triangles donne entre Viège et Domo sur près de 35 kilomètres de distance à vol d'oiseau (distance plus que triple en suivant le développement des triangles) une erreur totale de 0^m.69. La moyenne des mesurages de la base Crevola-Domo, donne en effet une longueur de 3172^m.76, tandis que la longueur calculée en partant de la base Brigue-Gamsen est de 3173^m.45. La différence se réduit à 0^m.65, en prenant la moyenne des mesurages à la latte.

En tenant compte des influences de réfraction de lumière et autres, on peut arriver à un résultat encore notablement plus exact. Mon but, je le répète, était de faire une opération bien suffisante pour déterminer à quelques décimètres près, la longueur du souterrain, et en même temps d'établir des signaux assez définitifs, pour permettre de les employer pour l'exécution de ce dernier. Dans le même esprit de fournir un travail *durable* et pouvant servir plus tard pour l'exécution, nous avons aussi fait fixer par des bornes en gneiss tous les sommets d'angles de nos polygones d'opération.

Le canevas trigonométrique avec la désignation des signaux et de leurs altitudes, et avec l'indication des angles et des côtés des triangles, figure sur l'un des tableaux ici exposés. Autant que les exigences de l'observation le permettaient, on a cherché à éviter des angles trop aigus ou trop obtus et à se rapprocher de l'idéal de triangles équilatéraux, qui donnent les meilleures chances d'exactitude et de compensation d'erreurs.

Pendant la durée des opérations mêmes, c'est-à-dire pendant l'année 1876, on avait régulièrement complété les plans de situation, carnets de nivellement et autres documents se liant aux opérations sur le terrain. De plus, on avait pendant les jours de pluie, heureusement rares, préparé une première copie des feuilles originales levées au moyen de planchettes spéciales à rouleaux, permettant d'employer des feuilles d'une longueur de deux mètres. Le travail de cabinet proprement dit

ne commença cependant qu'au mois de février 1877 à Lausanne. Après nouvelle vérification de tous les calculs et carnets, on rapporta les nombreux profils et termina une première copie des plans parcellaires, copie destinée à recevoir les projets. Sur les profils en travers rapportés, on détermina par procédé graphique les intersections des plans horizontaux, espacés verticalement de deux mètres et correspondant aux chiffres pairs de l'altitude au-dessus du niveau de la mer. Ces points d'intersection déterminés, on fit des tableaux donnant leurs distances au piquet, soit au point du polygone d'opération, tableaux qui servirent à établir sur les plans parcellaires les courbes de niveau. Conjointement à ce travail, on fit les calculs de la triangulation et le canevas d'un plan à l'échelle de 1 pour 5000 devant résumer cette triangulation, le tracé du tunnel et celui d'un tronçon de ses lignes d'accès.

La fixation du tracé fut entreprise, dès qu'on était suffisamment orienté sur les conditions générales, et sur la possibilité d'employer une déclivité uniforme sans rendre plus difficile le passage du défilé de Crevola et la traversée inévitable de la Diveria. Je vis au dernier moment qu'il était possible d'améliorer d'une façon très heureuse, les débouchés du tunnel d'abord prévus sur le terrain, de placer la tête méridionale un peu plus en amont dans une formation plus facile, d'éviter le tracé en courbe d'une partie notable de l'extrémité du souterrain, et d'obtenir pour la gare d'Iselle, une position commode et vaste, permettant de loger les déblais du tunnel. L'emplacement de la station de Varzo fut également modifié, et exigea encore quelques levés supplémentaires. La station de Crevola et la courbe au passage du défilé de même nom, donnèrent lieu à une série de tâtonnements, destinés à en réduire le coût par des dispositions spéciales, compensant et diminuant le terrassement relativement trop fort qui résultait du passage forcé par une courbe dont nous ne voulions pas prendre le rayon au-dessous de 300 mètres.

Il serait trop long ici de s'arrêter à tous les détails du tracé. Il convient cependant de parler encore de quelques principes fondamentaux qui ont guidé la fixation de ce dernier. Dans les deux sections difficiles, qui se concentrent l'une entre Iselle et le confluent de la Cherasca et l'autre entre le défilé de Crevola et un point situé à deux kilomètres environ en aval de Varzo, on rencontre deux principales catégories de terrain : a) les parois de rochers plus ou moins abruptes, et b) les cônes d'éboulement, formés d'un mélange de débris rocailleux de toutes

dimensions, depuis les blocs ayant les dimensions d'une maison jusqu'aux pierres de la grosseur employées pour le macadam.

Ces derniers terrains ont un aspect assez sauvage et l'imagination se représente aisément un certain danger. Cette apparence de danger se trouve très amoindrie cependant, par l'observation que presque tous ces amoncellements sont couverts de châtaigniers et autres arbres d'un certain âge, et que la population de la contrée n'a pas craint de construire des habitations dans les Oasis qu'on rencontre au milieu de ces débris. En vérité, le danger relatif existe partout, mais il faut se demander s'il ne s'exagère pas sous l'impression du voisinage de rochers gigantesques. Il faut se demander de combien de centaines de siècles on constate les effets, et si le pied des masses éboulées ne présente pas même une certaine sûreté vis-à-vis de parois qui paraissent intactes, mais qui pourront s'ébouler dans le cours d'un siècle à venir.

Ces diverses observations m'ont engagé à me départir d'une opinion que j'avais déjà entendu exprimer à plusieurs reprises, celle qu'il convenait de traverser ces cônes d'éboulement en galeries souterraines. En vérité l'exécution d'un souterrain serait dans ces formations d'une difficulté extrême. Elle serait inefficace à mon avis dans le cas d'un éboulement très sérieux, qui ne manquerait pas de disloquer et probablement de briser le tube de maçonnerie qui aurait été placé avec la plus grande peine dans ce chaos de débris. S'il en était ainsi, la circulation serait interrompue pendant des mois, car un souterrain dans ces conditions ne se rétablirait pas du jour au lendemain.

Dans cette situation des choses, j'ai cru devoir adopter la solution de contourner les cônes d'éboulement par des remblais. Ces derniers présenteront dans leur partie aval des talus raides inclinés à raison de 100 % ou même de 2 de base sur 3 de hauteur, inclinaison que permettent d'adopter et la nature pierreuse du remblai, et la disposition d'un perré sec pour lequel les blocs peu équilibrés, qu'il faut enlever en tout état de cause, fourniront d'excellents matériaux situés à proximité. Comportant les talus raides à l'aval et adossés à une pente, ces remblais ne présentent pas en général un cube très considérable. Ce n'est qu'exceptionnellement que nous entaillons une faible partie du corps de la voie dans ces masses de débris. Bien que douées d'une poussée faible, elles seront à retenir cependant par des murs secs, générale-

ment peu élevés. Les matériaux pour les remblais mêmes doivent être empruntés de façon à débayer autant que possible la partie supérieure du cône et à laisser entre la voie et la paroi du rocher une zone de terrain en contre-bas du rail qui servira de receptacle pour d'ultérieurs éboulements.

La disposition d'un remblai avec talus raides en maçonnerie sèche est d'ailleurs celle que justifie non-seulement la pratique des routes alpestres, mais encore l'exemple du chemin de fer du Brenner. Au mont Cenis on n'a pas craint d'échancrer fortement les cônes pierreux et la pratique ne semble pas avoir fait trouver jusqu'à ce jour dans ces terrains des difficultés qui ne font pas défaut cependant dans d'autres formations de ce passage. En général, dans mes combinaisons, j'ai moins cherché la réduction outrée des cubes que la facilité des transports et la simplicité dans l'organisation des travaux.

La gare de Domo d'Ossola et les stations d'Iselle, Varzo et Crevola méritent quelque mention spéciale. J'ai supposé dans chacune de ces trois dernières stations quatre voies, formant deux systèmes de couples ou demi-lunes reliées entre elles par un double branchement dont les aiguilles ne peuvent être prises qu'en talon dans le sens normal de la marche qui est à gauche, comme sur les chemins de fer français, italiens et ceux de la Suisse occidentale.

Cette disposition permet de faire dépasser dans chaque sens un train et elle rend impossible que, sans manœuvre et par un simple déplacement d'aiguille, un train direct s'engage dans une fausse voie principale à la rencontre d'un autre train. Les voies de gare ont généralement 400 mètres entre les piquets de police. Seules les voies de Crevola deviennent un peu courtes à cause de la position très tourmentée de cette station serrée entre deux courbes, fortement rejetée vers l'aval par le passage du défilé, ce qui nous a conduit à reporter le système des voies vers l'amont pour réduire les remblais.

La gare de Domo est disposée à l'emplacement des travaux existants qui seront cependant à exhausser, la gare anciennement prévue étant très insuffisante comme surface et comme longueur de palier. Sa position par rapport à la ville est très commode. Bien que nous ayons admis comme règle des trains devant passer sans décomposition et être simplement renforcés par la double traction dans le sens Brigue, nous avons cependant supposé, pour les cas exceptionnels, un petit

système de gare de triage avec une voie en pente commandant 5 tiroirs. La disposition du système restant des voies a été très raisonnée au point de vue des manœuvres. Il faudra dans cette gare un petit atelier et une demi-rotonde pour locomotives, un système d'alimentation, des remises à voitures, etc., etc.

Les dispositions assez vastes de la gare internationale de Brigue ont été étudiées en se servant des plans d'autres gares, entre autres de celles de Modane et de Ventimiglia. La gare présente un fort remblai qui facilitera le dépôt des 700,000 mètres cubes de matériaux qui doivent sortir de la moitié nord du grand tunnel. Les bâtiments seraient construits légèrement, système règle-mur; moyennant un fort bétonnage, ils pourront être assis sur un remblai pierreux, ayant tassé depuis 7 ou 8 ans; les ateliers sont cependant disposés vers l'amont, parallèlement à la Saltine, dans un très faible remblai ou déblai. Cette disposition facilitera les fondations et la prise d'eau pour la force motrice.

Un examen de la position des maisons de garde démontrera que ces bâtiments occupent généralement des emplacements recherchés avec soin qui permettent une vue aussi lointaine que possible.

Il me reste à parler des résultats du *jaugeage* des cours d'eau destinés à fournir la force motrice pour la ventilation et pour la perforation mécanique du tunnel. Exceptionnellement doux, l'hiver de 1876-77 n'était pas favorable pour permettre de juger exactement des minimums de quantité qui doivent se présenter pendant la période des grands froids. Ceci m'a engagé à poursuivre les observations pendant l'hiver 1877-78.

En 1876-77 nous avons établi, du côté sud des Alpes, dans le lit de la Diveria, deux barrages, situés l'un à 3 kilomètres en amont de la tête méridionale du tunnel, à l'altitude de 768^m et l'autre, à 4 kilomètres de cette tête, près du poste frontière de Gondo, à l'altitude de 828^m, soit 140 mètres environ au-dessus du niveau de l'embouchure du souterrain. Pour le cas où les eaux de la Diveria ne suffiraient pas, nous avons fait établir un barrage semblable dans la vallée de la Cherasca, située à 7 kilomètres en aval de l'embouchure méridionale du tunnel.

Chaque barrage se composait d'un chenal planchéié de 3^m.50 de largeur sur 0^m.50 de hauteur et 10 mètres de longueur. La partie amont

de ce chenal se raccordait à un radier également planchéié, mais ayant ses parois verticales évasées, de façon à former en plan horizontal un entonnoir. Les parois étaient solidement appuyées par des piquets et des grosses pierres. Un seul des barrages de la Diveria a été utilisé en 1878. Les hautes eaux de l'été précédent avaient plus ou moins disloqué nos installations et il nous a paru suffisant d'en faire rétablir une seule.

Les filtrations ne pouvaient être empêchées. Le mesurage s'est opéré par constatation de la section mouillée et de la vitesse dans le chenal étroit. Il a été exécuté tous les deux jours, d'abord par nos opérateurs, puis, après le départ de ceux-ci, par les gendarmes du poste de Gondo.

Les minimums ont été de 1356 litres par seconde à la Diveria et de 1200 litres par seconde à la Cherasca en 1876-77, de 1320 litres à la Diveria en 1878, année où l'hiver a été excessivement rigoureux du côté nord des Alpes, un peu moins rude il est vrai, au midi de la chaîne. En vue de ces circonstances les résultats obtenus en 1878, peuvent bien être considérés comme des minimums réels, d'autant plus que les barrages perdaient encore fortement. Il est à supposer même qu'avec une bonne captation le débit pourrait être augmenté de 10-15 pour cent. C'est aux fuites régulières qu'il faut attribuer les petites anomalies et différences dans les jaugeages des deux barrages de la Diveria.

La colonne d'eau pouvant être portée dans les conditions de bon fonctionnement des turbines jusqu'à 180 mètres, le minimum de 1320 litres par seconde, obtenu dans la Diveria pendant l'hiver 1876-77, correspondrait à une force théorique de $\frac{1320 \text{ litres} \times 180 \text{ mètres}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 3,166$ chevaux théoriques, ce qui donne environ 2,000 chevaux effectifs, force bien suffisante et qui permettrait de renoncer à la Cherasca, surtout si l'emploi de perforateurs hydrauliques doit réaliser une meilleure utilisation de la force.

Par des raisons de surveillance il conviendra d'établir la prise d'eau près du poste de Gondo. Cette exigence se rencontre avec des dispositions favorables de la gorge qui se resserre peu en amont de Gondo et permet un barrage facile. Il faut dire pourtant qu'à Gondo la Diveria reçoit un affluent très important, le torrent de Stalden ou de Zwischenbergen, dont l'embouchure est située à la cote 828, soit 140 mètres seulement au-dessus de la sortie du tunnel.

Pour ne pas perdre la pression maximum de 180 mètres qui n'est

pas obtenue au confluent des deux torrents, on sera obligé d'établir pour la Diveria et pour le torrent de Stalden deux prises d'eau séparées qui correspondront rationnellement à deux canalisations. On aura ainsi deux cordes à l'arc, et on pourra marcher, même en cas d'avarie, à l'une des prises d'eau.

La topographie du terrain aux alentours des prises d'eau a été levée avec grand soin, ainsi que celle de la grande route et du fond de la vallée sur le tronçon Iselle-Gondo, qui doit recevoir la canalisation. La suffisance probable des quantités d'eau sur le versant sud m'a fait renoncer à l'idée de rejeter sur ce versant le Kaltwasserbach, qui coule actuellement dans la Saltine et pourrait être dévié depuis les grandes galeries près du col. Les jeaugeages ont d'ailleurs donné en hiver des quantités minimales pour ce cours d'eau qui est très abondant en été.

Du côté nord des Alpes, la situation est moins simple au point de vue des forces motrices. Je savais qu'il ne fallait pas compter sérieusement sur la Saltine seule. Les jeaugeages de ce torrent ont en effet donné des résultats très maigres. Au mois de janvier 1878, la quantité est descendue à 650 litres par seconde. Force est ici de recourir au Rhône. Le débit minimum de ce fleuve, sous le pont de Natérs, en amont de l'embouchure de la Saltine, a été trouvé d'environ 11,000 litres par seconde.

En barrant le Rhône à 2 kilomètres en amont de ce point, à l'embouchure de la Massa, on obtient une chute de 8 à 9 mètres seulement, qui ne donnerait guère que 800 chevaux de force effective. Depuis ce confluent, le lit du Rhône devient plus rapide et le fleuve prend le caractère torrentiel. La Massa est en été presque aussi forte que le Rhône, mais ses eaux en hiver sont insignifiantes et n'atteignent guère que la vingtième ou trentième partie des quantités fournies par le cours d'eau principal. Il ressort de cette situation qu'il sera préférable de renoncer au débit de la Massa et de reporter la prise d'eau dans le Rhône même, à 3 kilomètres en amont de ce confluent, près du défilé de Hochfluh, à la cote 720, où l'on obtiendra une chute de près de 50 mètres et un terrain plus favorable pour le barrage. Les levés au 1/1000 ont été également étendus jusqu'à Hochfluh.

L'étude géologique du tunnel a été confiée, en automne 1877, à trois savants distingués : MM. les professeurs Lory, de Grenoble, Renevier, de

Lausanne, et Heim, de Zurich. Ces experts ont parcouru la montagne dans les derniers jours du mois d'août; leur rapport est en général très favorable; il attribue, sous le point de vue géologique, la supériorité au tracé ayant sa tête nord dans la basse plaine du Rhône, tracé qui n'attaque pas, près de cette tête, un filon de gypse, et se trouve plus éloigné de la Saltine, qui pourrait occasionner quelques filtrations. Cette situation respective ne m'avait nullement échappé, elle était même relatée dans le programme des questions que j'avais élaboré pour servir de base à l'expertise géologique. Tout en reconnaissant le bien fondé de l'observation des géologues, je n'estime pas qu'elle soit assez sérieuse pour motiver l'adoption du tracé bas. Au dire de M. Heim, qui est aussi géologue du tunnel du Gothard, les filtrations ne devraient pas de loin atteindre l'importance de celles qu'on a rencontrées à Airolo, sur la tête sud de ce tunnel. Se présentant près de l'embouchure nord du Simplon, ces filtrations seront moins gênantes.

La configuration géologique du tunnel est du reste déjà élucidée par les travaux préparatoires d'un géologue de distinction, feu M. Gerlach. On traverse sur la partie nord les schistes lustrés, et les schistes calcaires jusqu'à la vallée de la Ganther. De là jusqu'au milieu du tunnel alternent des massifs plus ou moins épais de micachistes, schistes amphiboliques et serpentineux et de gneiss. La partie méridionale du tunnel est encore composée de roches métamorphiques très compactes, essentiellement des gneiss granitiques de la vallée d'Antigorio. Ces gneiss sont très délités et donnent de beaux matériaux qui seront d'un utile emploi dans les travaux. On les retrouve dans plusieurs ouvrages de la route du Simplon, entre autres dans le monumental pont de la Cherasca, à 6 kilomètres en aval d'Iselle. On s'en sert dans l'Ossola pour faire des bouteroues, des clôtures, des supports de treilles et jusqu'aux poteaux du télégraphe, qui sont formés de longues et étroites dalles de gneiss.

Il me reste à dire un mot des devis. En ce qui concerne les mètres des terrassements, murs de soutènement et perrés, les atlas des nombreux profils en travers ici exposés, profils dont la distance moyenne ne dépasse pas 15 à 20 mètres établissent suffisamment que nous nous sommes livrés à un travail aussi sérieux qu'il est pos-

sible d'exécuter, dans le but d'arriver à une appréciation exacte et d'éviter des mécomptes. En ce qui concerne les ouvrages d'art, j'ai pris le parti de faire métrer isolément chaque ouvrage, en tenant compte des conjectures de fondation que nos très nombreuses notes nous indiquent. Entre deux conjectures, j'ai toujours adopté, comme base à mes évaluations la moins favorable, soit au point de vue du caractère général d'un ouvrage, soit à celui de ses conditions plus particulières d'exécution. La même précaution m'a guidé aussi pour l'adoption des prix unitaires que je crois en général, trop élevés. Il n'est aucun prix de ma série qui soit inférieur aux prix similaires du Gothard. (Je ne parle pas des prix du devis de cette ligne qui est aujourd'hui dépassé de 102 millions, mais de ceux du nouveau devis rectifié par M. Hellweg). Personne ne peut ignorer cependant que les conditions d'établissement sont autrement favorables au Simplon qu'au Gothard. Il est très différent en effet de faire exécuter des travaux à l'altitude de 1,400 à 1,200 mètres, sur la lisière de parois élevées, dans une contrée dépourvue de population et d'habitations; ou bien dans une vallée facile et peuplée, n'atteignant pas même l'élévation des grandes lignes suisses, et en général très peu distante d'une route magnifique et bien entretenue. Au Gothard; il faut franchir plus de 80 kilomètres pour atteindre depuis la station la plus rapprochée du chemin de fer la tête septentrionale du grand tunnel. Au Simplon, la station du chemin de fer se trouve à côté du portail même du tunnel.

Si nonobstant cette situation très différente, j'ai adopté des prix unitaires égaux ou supérieurs à ceux du Gothard, c'est que j'ai voulu éviter toute critique et toute apparence, de tomber dans les errements des promoteurs du passage central. Je citerai à l'appui de cette assertion deux exemples : les prix portés pour la partie métallique de la voie sont 25 pour cent plus élevés que ceux auxquels on peut aisément traiter aujourd'hui. Dans un travail dont l'exécution peut être retardée de quelques années encore, il m'a paru être prudent d'entrevoir une hausse du fer, et inadmissible de partir de la conjecture optimiste de la situation exceptionnelle du moment. Pour le tunnel j'ai compté, revêtement compris, le prix de 4,000 fr. le mètre courant, C'est là un prix notablement supérieur au prix du tunnel du Gothard dont l'exécution a été traitée à forfait, à raison de 2,800 fr. le mètre courant sans revêtement.

C'est sur la base des principes généraux ci-dessus expliqués que j'arrive dans mon évaluation du coût de la ligne du Simplon aux chiffres suivants :

<i>Ligne d'accès nord</i> : Gare internationale de Brigue et déviation de la ligne ¹	5,335,000 fr.
<i>Grand Tunnel Alpin</i> : Travaux. Installation mécan.	74,400,000
— Frais généraux, voie de fer et matériel.	3,400,000
<i>Ligne d'accès sud</i> : Ligne Iselle-Domo d'Ossola ² . . .	16,465,000
— Ligne Domo d'Ossola-Gozzano ² . . .	12,000,000
Total général. . . .	111,000,000 fr. ³

Je suis arrivé à la fin de mon exposé technique forcément très sommaire et je répondrai avec plaisir à toutes les questions qui pourront m'être posées sur des points que je n'aurais touchés qu'imparfaitement ou qui seraient restés obscurs dans l'esprit de mes auditeurs. Qu'en terminant il me soit permis d'émettre encore quelques réflexions d'un ordre plutôt général.

Le but de notre travail d'études était de répandre lumière complète sur la question du Simplon. Il m'est peut-être permis d'espérer que vous jugerez que ce but a été atteint et que nos études ont un caractère sérieux et concluant. Or, que ressort-il donc de ces documents, sinon la facilité toute exceptionnelle de la ligne du Simplon? sinon la preuve qu'avec une dépense de près de 100 millions on puisse obtenir, aujourd'hui un chemin de plaine en travers les Alpes, tandis que 300 millions suffiront à peine pour établir au Gothard un chemin de fer de montagnes, d'une exploitation compliquée et coûteuse, conçu sur la base du premier programme des conférences internationales, programme dont les conditions ne sauraient être aban-

1. La plus grande partie de cette dépense s'applique aux votes, bâtiments, ateliers et matériel fixe, à la gare internationale de Brigue et à la part afférente pour matériel roulant.

2. Voie de fer et matériel roulant compris.

3. Ce chiffre définitif est un peu supérieur à celui plutôt approximatif qu'indique M. Huber. La différence s'explique par la circonstance qu'au moment de la conférence de ce dernier, les devis n'étaient achevés que pour trois sections et qu'on avait admis des prix kilométriques analogues pour les deux autres sections.

données sans éveiller des oppositions insurmontables et sans amoindrir encore davantage la valeur commerciale de la ligne alpine par la Suisse centrale.

En face de cette situation, on est involontairement conduit à se poser ces questions : « Comment se fait-il que la ligne du Simplon ne soit pas déjà exécutée ? Comment justifier qu'au lieu de suivre ce sillon facile tracé par la vallée du Rhône, on se soit jeté, tête baissée, dans les étroites et rapides gorges de la Reuss et du Tessin, pour exécuter de toutes les lignes alpines la plus inaccessible et la plus difficile ? Comment expliquer enfin que depuis vingt ans qu'on parle du percement des Alpes suisses, cette question n'ait fait encore qu'un seul pas et que ce pas soit un faux pas, le Gothard ? » Ces questions donneraient lieu à des réponses complexes. Le passage central est né en Suisse d'un moment d'engouement et d'entraînement incompréhensibles. On s'est grisé de mots sonnants et on a passé légèrement sur les difficultés matérielles. Les avertissements des mécomptes futurs n'ont pas fait défaut cependant ni dans la presse suisse, ni dans les débats des conseils législatifs, ni ailleurs ; mais sur la base d'une préparation absolument insuffisante, on est allé de l'avant sans se préoccuper du lendemain et ce lendemain est aujourd'hui une catastrophe, dont le Gothard sortira peut-être, on doit l'espérer, mais non sans laisser sa route parsemée d'épaves et de ruines industrielles.

A côté de ce désastre auquel aboutit une lutte insensée contre la nature, que voyons-nous par contre au Simplon ? Il a suffi qu'une petite compagnie honnête, formée au modeste capital de 7 millions prenne les choses en main pour résoudre en deux ans la question des lignes d'accès au nord du massif. Depuis huit jours la locomotive est arrivée à Brigue, près de l'embouchure septentrionale du grand tunnel. La ligne d'accès italienne, si facile entre Gozzano et Domo, dont le terrassement reste à construire sur 40 kilomètres seulement, sera, selon toute probabilité avant deux ans un fait accompli. Elle est déjà comprise dans la loi qui sera soumise aux Chambres italiennes pour le nouveau réseau à construire. Les communes intéressées d'Ossola et de la province de Novare font aujourd'hui les plus sérieux efforts pour former la part du capital qui ne serait pas fournie par l'Etat. Le court tronçon de 20 kilomètres entre Domo et Iselle comporte 12 kilomètres de tracé difficile et son coût total pourra atteindre 16 millions ; mais déjà le gouvernement italien s'est moralement engagé à établir

ce tronçon pour l'époque où l'ouverture du tunnel du Simplon sera assurée.

Dès lors la question des lignes d'accès méridionales paraît être résolue également, et il ne restera qu'à assurer la construction du tunnel même, dont la longueur sera de 18 kilomètres $1/2$ et dont le coût qui laisse peu ou point d'incertitude ne devra pas dépasser 74 millions. C'est là un obstacle sérieux qui ne pourra pas être vaincu sans le puissant appui de la France.

Si cet appui lui est accordé, la ligne du Simplon pourra être considérée comme assurée et son ouverture aura peut-être lieu même avant celle du Gothard. Si cet appui lui fait défaut, il ne restera qu'à abandonner cette grandiose entreprise à l'initiative d'une autre génération plus hardie avec le sentiment consolateur d'avoir fait ce qui était possible pour en assurer le succès.

Mais ce dilemme n'a pas de valeur pour qui connaît les sentiments et les aspirations de la France.

Il est impossible, en effet, que votre pays se désintéresse de cette grande et belle œuvre. Tout l'engage au contraire à la patronner et à l'adopter comme sienne. Il s'agit là non-seulement d'une question de tradition, se liant à la création de cette admirable route, fruit d'un trait de génie et de six années de travail persévérant. Il y a encore pour la France une tradition plus générale, celle qui de tous ses titres de gloire dans l'histoire forme la page la plus sérieuse et la plus ineffaçable : la tradition de s'intéresser à toutes les grandes et belles conceptions de l'humanité, à toutes les œuvres de paix, de progrès et de civilisation.



CARTE GÉNÉRALE

de la

SUISSE

Explication des Signes

- CHEF-LIEU de CANTON
- Ville, Petite Ville
- Bourg
- Grande Commune
- Village
- Route
- Frontière suisse
- Limite de Canton
- double voie - en exploitation
- Ligne projetée du Simplon
- Ligne projetée du Gothard

Echelle.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Kilomètres

Profils comparatifs

DES LIGNES ALPINES

du SIMPLON et du S^t GOTHARD.

Données comparatives

	Simplon	S ^t Gothard
a. Longueur totale des Lignes encore à construire	98,000	204 ^k 805
b. " " des fortes rampes (17 à 26 $\frac{1}{2}$ p. ‰)	17,298 ^m	90,000
c. Déclivités maximum	23,7 ‰	26,5 ‰
d. Points culminants	729 ^m 00	1152 ^m 00

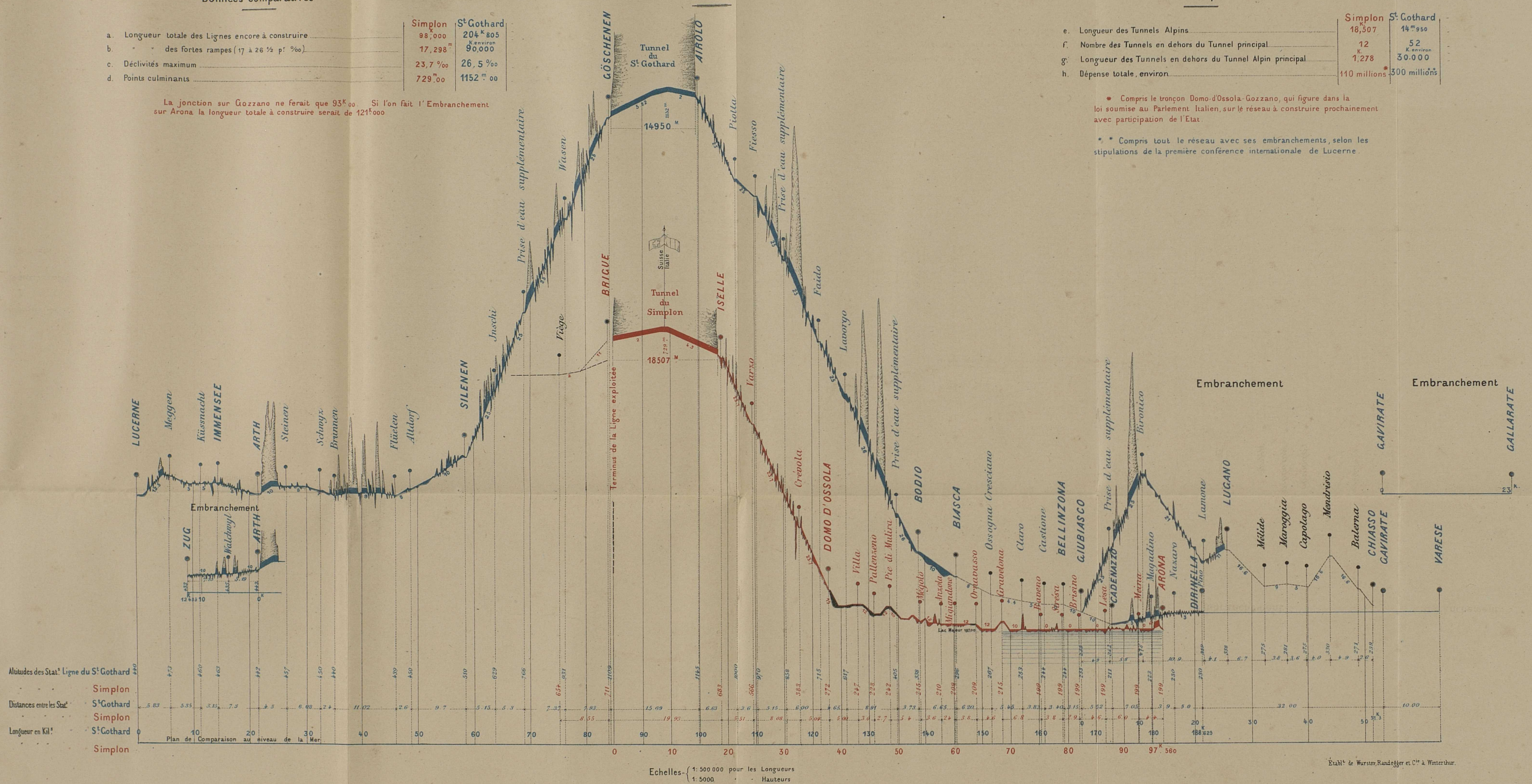
La jonction sur Gozzano ne ferait que 93K⁰⁰. Si l'on fait l'Embranchement sur Arona la longueur totale à construire serait de 121K⁰⁰⁰

Données comparatives

	Simplon	St Gotthard
e. Longueur des Tunnels Alpins.....	18,507 ^K	14 ^m 950
f. Nombre des Tunnels en dehors du Tunnel principal.....	12 ^K	52 ^K Keviran
g. Longueur des Tunnels en dehors du Tunnel Alpin principal.....	1,278 ^K	30 000 ^K
h. Dépense totale, environ.....	110 millions*	300 millions*

* Compris le tronçon Domo-d'Ossola-Gozzano, qui figure dans la loi soumise au Parlement Italien, sur le réseau à construire prochainement avec participation de l'Etat.

* * Compris tout le réseau avec ses embranchements, selon les stipulations de la première conférence internationale de Lucerne.



Signaux de triangulation

Echelle de 0,05 par mètre.

Elévation

Coupe
suivant a-b du plan

